

UNTERSUCHUNGEN ZUR ANWENDUNG FLÜSSIGER
KRISTALLE IN DER KLINISCHEN MEDIZIN

WOLFGANG MOCH

1975

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554420_0123

INHALTSVERZEICHNIS

A. EINLEITUNG

1. Wert der Kristalle in der klinischen Medizin

2. Kristalle in der klinischen Medizin

3. Kristalle in der klinischen Medizin

4. Kristalle in der klinischen Medizin

5. Kristalle in der klinischen Medizin

6. Kristalle in der klinischen Medizin

7. Kristalle in der klinischen Medizin

8. Kristalle in der klinischen Medizin

9. Kristalle in der klinischen Medizin

10. Kristalle in der klinischen Medizin

11. Kristalle in der klinischen Medizin

12. Kristalle in der klinischen Medizin

13. Kristalle in der klinischen Medizin

14. Kristalle in der klinischen Medizin

15. Kristalle in der klinischen Medizin

16. Kristalle in der klinischen Medizin

17. Kristalle in der klinischen Medizin

18. Kristalle in der klinischen Medizin

19. Kristalle in der klinischen Medizin

20. Kristalle in der klinischen Medizin

21. Kristalle in der klinischen Medizin

22. Kristalle in der klinischen Medizin

23. Kristalle in der klinischen Medizin

24. Kristalle in der klinischen Medizin

25. Kristalle in der klinischen Medizin

26. Kristalle in der klinischen Medizin

27. Kristalle in der klinischen Medizin

28. Kristalle in der klinischen Medizin

29. Kristalle in der klinischen Medizin

30. Kristalle in der klinischen Medizin

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

den Medizinischen Fachbereichen

vorgelegt von

WOLFGANG MOCH

aus Bernkastel-Kues

Fachbereichsdekan:

Professor Dr. J. Fischer

Referent:

Professor Dr. B.-K. Jüngst

Korreferent:

Professor Dr. J.-E. Hausamen

Tag der mündlichen Prüfung:

29. Januar 1975

Gesamtherstellung



DITTERS BÜRODIENST

6501 HEIDESHEIM/RHEIN

AM KAPELLECHEN 1 · RUF 0 6132 / 57 11



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
A. EINLEITUNG	1
1. Verschiedene Temperaturmeßverfahren	1
2. Grundsätzliche Anwendungsmöglichkeiten flüssiger Kristalle	1
B. ANGABEN ÜBER FLÜSSIGE KRISTALLE UND EIGENE UNTERSUCHUNGEN	3
I. Die flüssigen Kristalle und ihre Eigenschaften unter besonderer Berücksichtigung der FK des cholesterinischen Typs	3
1. Angaben zur Struktur	3
2. Eigenschaften der cholesterinischen flüssigen Kristalle	5
3. Abhängigkeit der Wellenlänge von verschiedenen Beleuchtungs- und Beobachtungswinkeln	6
II. Eigene Untersuchungen	7
1. Patientengut	7
2. Versuchsdurchführung und verwendetes Material	8
3. Dokumentation	9
4. Zur Technik der Fotografie von Farbphänomenen an cholesterinischen Kristallen	9
III. Ergebnisse	11
IV. Diskussion	15
C. ZUSAMMENFASSUNG	19
D. LITERATURVERZEICHNIS	20

A. EINLEITUNG

Entzündliche Prozesse zeichnen sich an der Hautoberfläche durch erhöhte Temperatur gegenüber der Umgebung aus. Routinemäßig prüft der Arzt dies durch Handauflegen. Daher wird schon seit längerer Zeit versucht, dieses diagnostische Kriterium "calor" in objektivierbaren Werten darzustellen. Hierzu ergeben sich unterschiedliche Temperaturmeßverfahren.

1. Verschiedene Temperaturmeßverfahren

Die Temperaturmeßverfahren kann man grundsätzlich in berührungslose und kontaktthermometrische Verfahren einteilen. Die Vorteile der berührungslosen Verfahren sind durch den fehlenden Kontakt zwischen Meßfühler und Meßobjekt bedingt; die Meßgröße wird durch die Messung selbst nicht beeinflusst und die Zeitkonstante ist gering. Nachteilig sind aber der große elektronische Aufwand und die Abhängigkeit vom Wärmeemissionskoeffizienten der Meßfläche. Die Vorteile der Kontaktverfahren hingegen liegen im minimalen Aufwand und der Unabhängigkeit vom Wärmeemissionskoeffizienten. Nachteilig wirkt sich hierbei die große Zeitkonstante aus, bedingt durch die langsameren Wärmeausgleichsvorgänge zwischen Meßobjekt und Meßfühler (1).

Bei Kontaktverfahren stehen als Temperaturmeßgeräte mit hoher Nachweisempfindlichkeit Thermistoren u. Ä. in Brückenschaltung aufgebaut zur Verfügung. Die Nachteile hierbei liegen bei der Messung in einem sehr kleinen Oberflächenbezirk, den Ankopplungsschwierigkeiten und einer großen Zeitkonstanten.

Weitere Meßgeräte für Kontaktverfahren sind die optischen Temperaturindikationen wie Thermocolore, Thermometerpapiere, Schmelzstifte u. Ä.; sie sind aber für die meisten Zwecke zu unempfindlich. Thermophosphore lassen in handelsüblicher Form nur eine Temperaturauflösung von ca. 2°C zu (1).

2. Grundsätzliche Anwendungsmöglichkeiten flüssiger Kristalle

Seit etwa 80 Jahren sind der Physik flüssige Kristalle bekannt. Sie wurden bisher fast ausschließlich in Physik, Chemie und angewandten Techniken benutzt, so etwa in der Spektroskopie. Außerdem sind neuerdings Versuche zur Herstellung temperaturanzeigender und druckanzeigender Folien und Körper zur Materialprüfung durch Wärmeflußverfahren erfolgt; in Displays und in der Werbetechnik finden die flüssigen Kristalle bereits Verwendung.

Erst in den letzten Jahren werden sie auch zur Untersuchung in der Medizin herangezogen. Auf verschiedenen Gebieten, wie der Diagnose von Gefäßverschußkrankheiten, Krebsdiagnose, der Lokalisation der Plazenta im Spätstadium der Schwangerschaft und der Mammographie, haben sie sich bewährt und sind zum Teil von erheblichem Nutzen (3, 5, 11, 12, 13, 15).

B. ANGABEN ÜBER FLÜSSIGE KRISTALLE UND EIGENE UNTERSUCHUNGEN

1. DIE FLÜSSIGEN KRISTALLE UND IHRE EIGENSCHAFTEN UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER FK DES CHOLESTERINISCHEN TYPUS

1. Angaben zur Struktur

1888 wurden die flüssigen Kristalle (FK) von dem österreichischen Botaniker Friedrich Reinitzer an Cholesterylbenzoat entdeckt, das bei 145°C schmilzt, aber nicht in eine normale Flüssigkeit übergeht; erst bei 179°C verliert die Schmelze ihr milchig-trübes Aussehen. Der Physiker Otto Lehmann bezeichnete 1890 diese Erscheinung als "fließende Kristalle". Erst James Fergason erkannte um 1960 die praktische Bedeutung und begann mit systematischen Untersuchungen (4).

Der flüssig-kristalline Zustand (mesomorphe Phase) ist als eine besondere Erscheinungsform der Materie zwischen festem Kristall und normaler isotroper Flüssigkeit zu betrachten, von beiden Phasen durch scharf definierte Umwandlungspunkte abgegrenzt. Ihre physikalischen Eigenschaften sind die der Kristalle (anisotrop), sie haben aber mit normalen Flüssigkeiten die Fluidität gemeinsam. Der Brechungsindex ist wie bei Kristallen ein Tensor, also sind die FK doppelbrechend. Die Ursache für das unterschiedliche physikalische Verhalten von Kristallen, Flüssigkeiten und FK liegt in der Anordnung der Moleküle (7, 8).

PHASE	EIGENSCHAFTEN		ORDNUNG
Kristall	fest	anisotrop	Fernordnung
FK	beweglich	anisotrop	Fernordnung
Flüssigkeit	beweglich	isotrop	Nahordnung

Fig. 1: Der flüssige Kristall (FK) nimmt eine Zwischenstellung gegenüber dem Kristall und der Flüssigkeit ein (nach Meier, G. (7)).

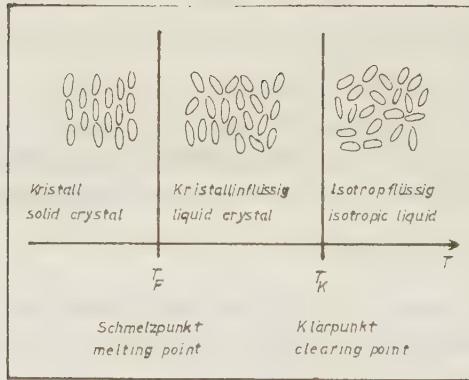


Fig. 2: Kristall - flüssiger Kristall - Flüssigkeit (schematisch) (nach Meier, G. (7))

Man erhält flüssige Kristalle (FK) als erste Gruppe bei sehr vielen organischen Verbindungen, wenn man den festen Kristall aufschmilzt (thermotrope Phase); erst bei weiterer Temperaturerhöhung erfolgt an einem scharf definierten Umwandlungspunkt der Übergang in die normalflüssige Phase.

Eine zweite Gruppe der FK tritt in Lösungen auf: Bestimmte Verbindungen gehen bei Zugabe eines Lösungsmittels nicht in eine normale (isotrope) Lösung über, sondern in einen flüssig-kristallinen Zustand. Diese sogenannten lyotropen FK gehen erst bei weiterer Anreicherung des Lösungsmittels in eine normale Lösung über.

Flüssige Kristalle treten in drei Haupttypen auf:

a) smektisch

b) nematisch

c) cholesterinisch

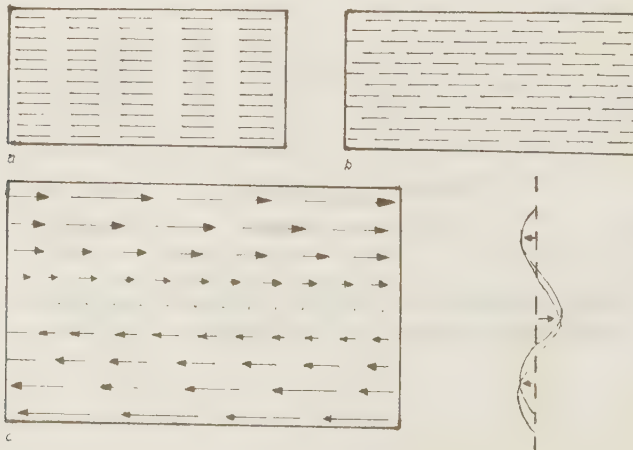
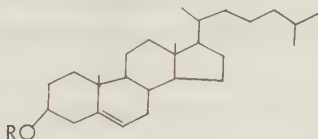


Fig. 3: Strukturtypen flüssiger Kristalle (aus Licristal^R (9))

2. Eigenschaften der cholesterinischen flüssigen Kristalle

Beim cholesterinischen Typ liegt eine Schraubenstruktur vor, die rechts- oder linksdrehend sein kann.

Kurze physikalische Daten zu den FK vom cholesterinischen Typ: Viele Verbindungen dieses Charakters sind Abkömmlinge des Cholesterins:



Die auffallendste Eigenschaft der cholesterinischen flüssigen Kristalle ist die selektive Reflexion: Licht, das in Richtung der Schraubenachse einfällt, erfährt in der Umgebung einer bestimmten Wellenlänge λ eine starke Reflexion (Fig. 4). Es handelt sich hierbei um Reflexionsfarben, nicht um Absorptionsfarben wie sonst im täglichen Leben. Diese Farben, die sich auf die Kristallstruktur zurückführen lassen, sind im sichtbaren Spektralgebiet besonders brillant. Licht wird als Funktion der Wellenlänge gestreut. Das Reflexionsmaximum ist temperaturabhängig.

Die zweite Eigenschaft ist die hohe optische Aktivität. Ein typischer cholesterinischer Kristall dreht die Polarisationssebene um 18000° (oder 50 vollständige Umdrehungen in 1 mm Schichtdicke).

Die Größe der Schraubenhöhe ist besonders temperaturabhängig. So reicht eine Temperaturerhöhung um 3°C aus, um von Rot das gesamte sichtbare Spektrum nach Blau zu verschieben. Die verdrehte Struktur stellt einen Gleichgewichtszustand dar, der außerordentlich leicht gestört werden kann, da der Energieinhalt der Verdrillung äußerst klein ist. Dies führt zu einem Wechsel der Farbe des reflektierten Lichtes. Auf dem genannten Effekt beruht die Anwendung cholesterinischer flüssiger Kristalle zur Messung von Temperaturverteilungen (5, 8). "Sieht man die Wellenlänge des reflektierten Lichtes als Maß für die Temperatur des Flüssigkristallfilms an, so lassen sich cholesterische flüssige Kristalle als Temperaturindikatoren verwenden" (6). (Siehe Fig. 4).

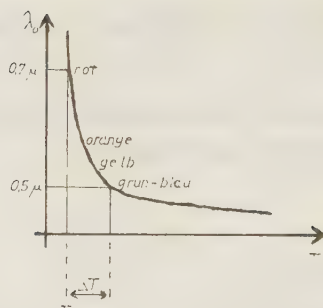


Fig. 4: "Änderungen der Wellenlänge λ , die durch eine Schicht der cholesterischen flüssigen Kristalle je nach ihrer Temperatur T reflektiert wird. ΔT stellt die nötige Breite der Mischung dar, d.h. den Temperaturbereich, innerhalb dessen kleine thermische Änderungen sichtbare Änderungen der Farbe vom Roten bis zum Blauen durchlaufen." (nach Gros, Ch. (5))

3. Abhängigkeit der Wellenlänge von verschiedenen Beleuchtungs- und Beobachtungswinkeln

In der Praxis stört die Abhängigkeit der Wellenlänge maximaler Reflexion von Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel sehr stark. Es sollten deshalb beide möglichst klein sein. Störende Oberflächenreflexe lassen sich unter Umständen mit Polarisationsfiltern in Beleuchtungs- und Beobachtungsstrahlung abschwächen. Für eine visuelle Beobachtung ist die Farbempfindlichkeit des menschlichen Auges zusammen mit der $\lambda(T)$ -Kurve zu beachten (Fig. 4). Für eine optimal orientierte Schicht cholesterischer FK, die innerhalb von 5°C alle sichtbaren Farben durchlief, konnten unter 10° Einfallswinkel eine minimalste Temperaturdifferenz von $0,06^\circ\text{C}$ bei 580 nm (gelb-orange) aufgelöst werden. Im Bereich grüner Farben konnten jedoch nur noch Temperaturunterschiede von über $0,3^\circ\text{C}$ visuell aufgelöst werden (1). Diese Analyse ist natürlich subjektiv, sowohl in der Schätzung der Farbe wie in der Interpretation der Verteilung.

II. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

1. Patientengut

Die Versuche wurden in einem Zeitraum von einem Jahr an der Universitäts-Kinderklinik Mainz durchgeführt. Während dieser Zeit wurden Patienten mit tastbaren Vergrößerungen von Leber, Milz, Lymphknoten, mit medianer Halszyste u.a. untersucht. Insgesamt standen uns 17 Patienten zur Verfügung. Zur Dokumentation wählten wir sieben Fälle aus, die sich auf Grund der Wiedergabe des Farbbildes auf Fotografien eigneten. Wir unterschieden in entzündliche und nicht entzündliche Prozesse, Organ- darstellungen und Nachweise von Durchblutungsstörungen. Eine Übersicht soll die Tabelle (Fig. 5) bieten:

a) entzündlich	b) nicht entzündlich
Osteomyelitis + *)	Lymphknoten-TBC -
Lymphadenitis -	Tumor +
Lymphadenitis +	
Arthritis -	
Lymphadenitis +	
Abszeß +	
c) Organdarstellung	d) Durchblutungsstörungen
Schilddrüse +	Meningokokkensepsis +
Athyreose -	Lymphangiom -
Gallengangsatresie -	Hämangiom -
Lues (Milzdarstellung) -	
Morbus Hodgkin (Leber + Milz) -	
Morbus Hodgkin (Leber + Milz) +	
Leberschwellung, unspezifisch -	

Fig. 5: Zusammenstellung der untersuchten Fälle

*) + oder - bedeutet hier lediglich, daß der Nachweis bzw. die Darstellung gelungen bzw. nicht gelungen ist, bedeutet aber noch keineswegs, daß hierdurch die Diagnose ermöglicht oder gesichert worden wäre.

2. Versuchsdurchführung und verwendetes Material

Bei unseren Versuchen benutzten wir Mischungen in Lösungen, Temperaturindikatoren der Firma Merck, Darmstadt. Da sich die FK auf bestimmte Temperaturintervalle, in denen sie die spezifischen Farberscheinungen durchlaufen, einstellen lassen, standen uns für diese Versuche drei verschiedene Temperaturindikatoren zur Verfügung:

28/34 Licristal ^R	Meßbereich	28° - 34° C
32/36 Licristal ^R	"	32° - 36° C
35/39 Licristal ^R	"	35° - 39° C

Die dabei auftretenden Farben entsprechen bestimmten Temperaturen, zum Beispiel 28°C rot, 30°C grün, 34°C blau, entsprechend bei anderen Licristal^R-Flüssigkeiten (Abb. 2). Der Preis für die 50 ml Mischung liegt bei 50 DM, es lassen sich damit etwa 5 000 cm² bestreichen.

Nach einer entsprechenden Reinigung der Haut von Medikamenten und Verunreinigungen wurde mit einem elektronischen Hautthermometer eine Temperaturmessung durchgeführt. Dabei notierten wir auf einer Skizze der zu messenden Hautpartie die vom Thermometer angezeigten Werte (Abb. 11).

Jetzt wurde mit einem normalen Haarpinsel der Schwarzlack-Licristal^R aufgetragen. Dieser Lack läßt die Farbänderungen am deutlichsten hervortreten, da der Bruchteil des Lichtes, der durch die Haut zurückgespiegelt würde, absorbiert wird. Durch Verdünnen mit Wasser läßt er sich auf jede gewünschte Viskosität einstellen. Außerdem schützt er die Untersuchungsstelle vor dem Lösungsmittel der flüssig-kristallinen Mischung (1,1,2-Trichlortrifluoräthan). Es finden sich zwar keinerlei Hinweise, daß die Licristal^R-Substanz irgendwelche Schädigungen hervorruft, doch sehen wir in dieser Vorsichtsmaßnahme einen zusätzlichen Effekt.

Der Schwarzlack benötigt normalerweise etwa 15 Minuten zum Auftrocknen. Von der Herstellerfirma Merck wird empfohlen, die Trockenzeit durch einen warmen Luftstrom zu verkürzen. Wir mußten jedoch feststellen, daß es dadurch zu einer Temperaturerhöhung oder -erniedrigung des zu untersuchenden Bezirkes und seiner Umgebung kommt; wir sahen daher davon ab.

Während der Lack trocknete, wurde etwas von der zur Untersuchung bestimmten Flüssigkeit in ein Dappenglas geschüttet, da durch kurzes Verdunsten die Licristal^R-Substanz

etwas an Viskosität zunimmt. Außerdem ist es aus hygienischen Gründen notwendig, die Flüssigkeit nicht direkt der Flasche zu entnehmen. Sie wird nach den durch das elektronische Hautthermometer bestimmten Werten gewählt. Es empfiehlt sich, die für den nächst höheren Temperaturbereich vorgesehene Flüssigkeit zu benutzen.

Nach der vollständigen Auftrocknung des Schwarzlacks wurde die flüssig-kristalline Schicht aufgetragen. Von der gleichmäßigen Schichtdicke hängt wesentlich die Temperaturanzeige ab. Die Schicht sollte möglichst dünn gehalten werden; die Farbe ist aber unabhängig von der Dicke der aufgetragenen cholesterischen Schicht. Auch hier konnten wir der Empfehlung der Fa. Merck nicht folgen und unterließen das Anblasen mit erwärmter Luft, da es gerade dann zu stärksten Änderungen der Anzeige durch die Kristalle kommt (Abb. 2). Etwa 2 bis 3 Minuten nach dem Auftragen dieser Schicht konnte dann mit den fotografischen Arbeiten begonnen werden.

Beide aufgetragenen Schichten lassen sich sehr leicht mit einem in Seifenwasser getränkten Tuch unter leichtem Reiben entfernen. Pinsel und Dappenglas reinigt man am besten mit hochprozentigem Alkohol oder Benzin, auch eingetrocknete Reste lassen sich damit lösen.

3. Dokumentation

Zur späteren Dokumentation wurden alle zu untersuchenden Hautbezirke vor jeder Untersuchung fotografiert (Abb. 1). 2 - 3 Minuten nach Auftragen der flüssig-kristallinen Schicht konnten die zur Auswertung bestimmten Fotos gemacht werden.

Durch eine Kontrollmeßreihe (Beispiele daraus Abb. 1 + 2) wurde die Abhängigkeit von Raumtemperatur, von Kühlung bzw. Erwärmung durch einen Luftstrom, sowie von der Schichtdicke des Lacks geprüft. Außerdem wurde dabei die Farbwiedergabe bei Wandel des Einfall- und Beobachtungswinkels untersucht, wie hier am Beispiel der Abb. 13 + 14 demonstriert werden kann.

4. Zur Technik der Fotografie von Farbphänomenen an cholesterinischen flüssigen Kristallen

Die Oberfläche des Objekts wird mit einer starken Lichtquelle aus einem Abstand von etwa einem Meter senkrecht angestrahlt, ebenso wird die Kamera unter einem Winkel von 90° in der gleichen Entfernung angebracht. Bei dieser Methode wurde eine 1000 Watt Quarzlampe benutzt. Mit einem 22 Din Diapositiv Film reichte eine Belichtungs-

zeit von $1/50$ sec bei Blende 8 (Objektiv $f=55\text{mm}$, $1:1,8$). Außerdem wurde ein Polarisationsfilter der Fa. Soligor vor die Aufnahmelinse gesetzt, hierbei muß allerdings die Blende um eine Stufe geöffnet werden.

Eine andere Methode, die bei der vorliegenden Arbeit fast ausschließlich angewendet wurde, besteht darin, daß wir ein Blitzgerät (Automatic Blitz, Leitzahl 28 bei 18 Din) benutzten. Außer dem angegebenen 55mm Objektiv wurde häufig mit einem Tele-Objektiv ($f=135\text{mm}$, $1:3,5$) und Zwischenringen von 11mm oder 18mm fotografiert. Dabei zeigte sich, daß ein Mindestabstand von 50 cm zwischen Objekt und Linse nötig ist, um Verzerrungen durch störende Reflexion des Blitzes zu vermeiden. Aus diesem Grund ist es günstiger, mit einem Tele-Objektiv und entsprechenden Zwischenringen zu fotografieren.

Bei stark gekrümmter Objektoberfläche muß aus verschiedenen Richtungen jeweils senkrecht fotografiert werden, da die unter einem Winkel von mehr als 10° Abweichung zur Senkrechten einfallenden Strahlen nicht mehr die wahren, an dieser Stelle vorliegenden Farben zeigen (siehe Abb. 13 + 14, Beispiel 6).

III. ERGEBNISSE

Im Folgenden werden einige typische Beispiele zur Anwendung der flüssigen Kristalle des cholesterinischen Typs demonstriert.

Demonstration des Meßverfahrens

Hier wurde anhand von aufgetretenen Fragen bei der Versuchsdurchführung eine Kontrollmeßreihe durchgeführt.

Genau markierte Meßpunkte (Abb. 1, oberer Arm) ließen vor Versuchsbeginn und nach Auftragen des Schwarzlacks sowie nach Auftragen der flüssig-kristallinen Schicht einen Temperaturvergleich zu. Dadurch konnten im direkten Vergleich die Relation zwischen Farbe und Temperatur ermittelt werden (Abb. 2 entspricht oberem Arm der Abb. 1).

Weiterhin maßen wir die Abhängigkeit der Temperatur von der Dicke der Schwarzlack-schicht: durch verminderte Wärmeleitfähigkeit bei erhöhter Schichtdicke und erhöhtem Wärmestau unter der Schicht werden die Farbbilder verfälscht. Außerdem ließ sich der Wandel der Reflexion der Farben unter Änderung des Einfall- und Beobachtungswinkels feststellen, auf den wir in folgenden Beispielen hinweisen werden. Durch Kühlung bzw. Erwärmung mit einem Luftstrom konnten die Farbänderungen bei geringsten Temperaturänderungen beobachtet werden, die den mit dem Thermometer gemessenen Werten entsprechen. Den gleichen Einfluß fanden wir in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur (wechselnde Raumtemperatur). Eine Meßreihe muß daher unter konstanter Umgebungstemperatur durchgeführt werden.

Beispiel 1: D.B., ♀, 6. J. 6 Mon., Kr.bl.-Nr. 397/73

Das Kind erlitt im September 1971 eine offene Ulnafraktur des rechten Armes. Unter dem Gipsverband entwickelte sich eine Osteomyelitis (*Streptococcus aureus*) mit neuraler Schädigung. Im Januar 1972 wurde in einer ersten Operation eine Knochenplastik durchgeführt.

Der Lokalbefund des rechten Armes ergab eine starke muskuläre Atrophie des rechten Unterarmes und der Hand. Auch litt der Arm unter trophischen Störungen sowie einer peripheren Nervenlähmung, wodurch eine Hyposensibilität verursacht wurde. Der Radialispuls rechts war nicht palpabel. Der Umfang des rechten Handgelenks maß 10 cm, der des linken 12,5 cm.

Ein direkter Vergleich der beiden Arme mit der selben Licristal-Flüssigkeit war wegen des zu breiten Temperaturintervalls nicht möglich. Der relative Vergleich zeigt jedoch gut die trophischen Störungen des rechten Unterarms. Bei der Betrachtung des rechten Armes (Abb. 4) fällt die gleichmäßige Wärmetönung, die zwischen 28°C und 30°C liegt, auf. Am linken Arm (Abb. 3) läßt sich dagegen eine unterschiedliche Wärmetönung zwischen $31,5^{\circ}\text{C}$ und $34,8^{\circ}\text{C}$ über dem Handgelenk erkennen.

Beispiel 2: S.P., ♀, 1 J. 4 Mon., Kr.bl.-Nr. 1321/73

Bei dem Kind lag eine Schwellung rechts submandibulär und unterhalb des rechten Ohres am Hals vor. Der Allgemeinzustand war deutlich beeinträchtigt. Die Diagnose lautete auf Lymphadenitis colli und Mundbodenabszeß. Bakteriologisch gelang der Nachweis von Bakt. haem. Streptok. A.

Auf den Abbildungen 5 + 6 ist der Abszeß (rot umrandet) auf Grund der Spiegelung nur schwach zu erkennen. Eine Temperaturerhöhung von $0,6^{\circ}\text{C}$ gegenüber der Umgebung (weiß gekennzeichnet) stellte sich jedoch deutlich dar.

Eine genaue Abgrenzung von Gewebe mit erhöhter Temperatur ist dadurch möglich geworden. Das Wärmebild läßt im Vergleich zu Abb. 8 (nicht entzündliches Gewebe des Beispiels 3) die exakte Diagnose eines entzündlichen Prozesses zu.

Beispiel 3: G.K., ♂, 4 J. 2 Mon, Kr.bl.-Nr. 1370/73

Die Diagnose bei diesem Kind lautete Lymphadenitis colli bei Infektion mit Leptospirose. Der Halslymphknoten im Bereich hinter dem rechten Kieferwinkel war hühner-eigroß angeschwollen, bei Palpation derb, aber nicht druckempfindlich. Der Nachweis von Leptospirose gelang durch einen positiven Titer von 1:400.

Abbildung 7 läßt den vergrößerten Lymphknoten (weißer Kreis) nur schwach erkennen. Die Temperaturerhöhung gegen die Umgebung lag lediglich bei $0,3^{\circ}\text{C}$. Der Nachweis eines entzündlichen Prozesses läßt sich aus diesem Farbbild nicht führen.

Die Abbildung 8 stellt die Unterkieferregion des gleichen Patienten dar. Hier waren keine Lymphknoten tastbar. Auch bei dieser Dokumentation findet sich ein gleichmäßiges Wärmebild um $34,6^{\circ}\text{C}$. Ein Vergleich mit Abb. 5 + 6 des Beispiels 2 (entzündlicher Prozeß) verdeutlicht den Unterschied im Wärme- = Farbspektrum.

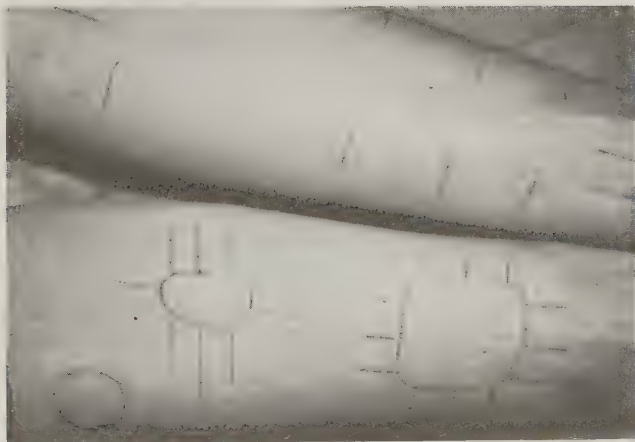


Abb. 1

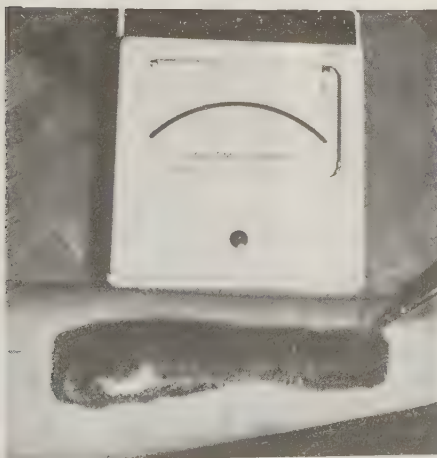


Abb. 2



Abb. 3

28-34 Licristal 32-36



Abb. 4

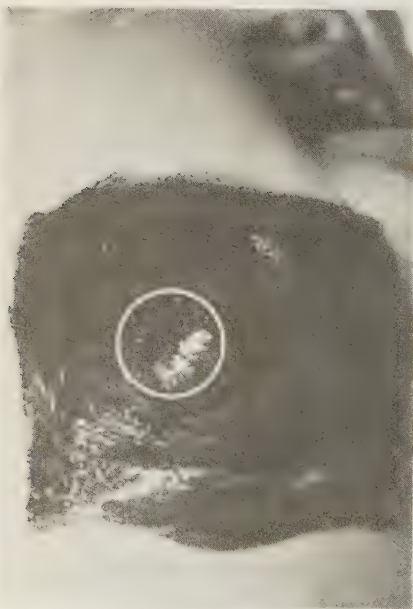


Abb. 5

Licristal 32-36

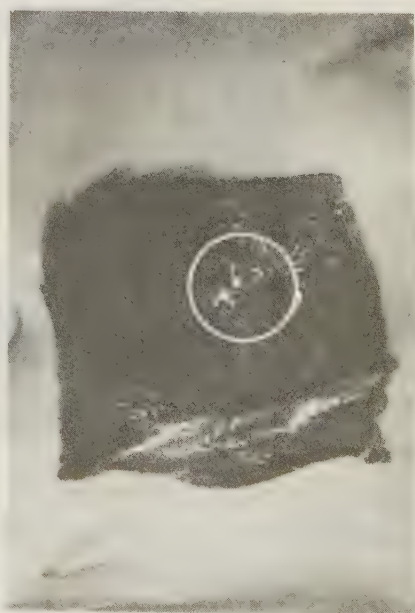


Abb. 6



Abb. 7

Licristal 32-36

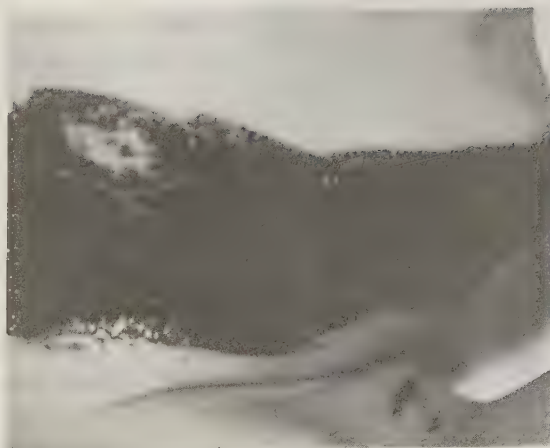


Abb. 8



Abb. 9



Licristal 32-36

Abb. 10

Beispiel 4: J.S., ♂, 8 J. 9 Mon., Kr.bl.-Nr. 2781

Bei dem Jungen war eine eigroße Schwellung im linken Unterkieferbereich zu sehen. Die Haut darüber war nicht gerötet. Die Palpation ergab einen derben, druckschmerzhaften, nicht verschieblichen Prozeß, der nicht mit dem Knochen verbacken war. Ein Zusammenhang mit Kieferknochen und Zahnsystem konnte durch Röntgenaufnahmen ausgeschlossen werden. Nach Penicillingabe und kalten Umschlägen bildete sich die Schwellung zurück.

Die Abb. 9 + 10 zeigen im Bereich des Tumors eine deutliche Blautönung (35° - 36°C). Nach cranial schlägt die Färbung entsprechend dem kühleren Bereich in rot-grün um. Auf Grund der Reflexion erscheint die Farbe unterhalb des Unterkieferastes schwarz. Das gefundene Wärmebild entspricht somit den Werten, die mit einem Hautthermometer gewonnen wurden (Abb. 11). Somit ist ein entzündlicher Prozeß wahrscheinlich.

Trotz Verwendung eines Polarisationsfilters ließ sich die Spiegelung des Blitzlichtes nicht vermeiden. Auch gehen durch die Krümmung der Oberfläche zur Submandibularregion hin Farbwerte verloren, die nur auf zusätzlichen Aufnahmen unter anderem Einfallswinkel zu erhalten wären.

Beispiel 5: H.F., ♀, 1 J. 7 Mon., Kr.bl.-Nr. 3534

Das Mädchen wurde mit einem Compound-Naevus geboren. Da Zweifel an der Gutartigkeit bestanden, wurde einen Monat nach der Geburt eine Probeexcision durchgeführt, die den Verdacht auf maligne Neurofibromatose nicht bestätigen konnten. Der Säugling wurde daraufhin entlassen, mußte allerdings immer wieder zur Behandlung erscheinen.

Die Abb. 12 zeigt den großen, den ganzen Rücken bedeckenden Tumor. Die Farbverteilung war bei der Betrachtung völlig einheitlich grün, so daß unterschiedlich warme Bezirke ausgeschlossen werden konnten und ein nicht entzündlicher Prozeß wahrscheinlich wurde. Es wird bei der Dokumentationsaufnahme wieder die Tatsache evident, daß die Beobachtung mit dem bloßen Auge wesentlich zweckmäßiger ist und die spätere Auswertung der Fotografien wenig erfolgversprechend ist. Es findet sich nämlich lediglich im senkrechten Winkel zur Hautoberfläche eine erkennbare Grünfärbung, alles andere erscheint auf Grund der Reflexion schwarz.

Beispiel 6: V.W., ♀, 10 J. 5 Mon., Kr.bl.-Nr. 2920/72

Die Patientin wurde unter der Diagnose: kindliche Struma - kalter Knoten eingeliefert. Ein kirschgroßer Knoten war praelaryngeal palpabel, caudal bis zwei Querfingerbreiten oberhalb des Jugulums. Verdacht auch auf mediane Halszyste (Abb. 13 + 14). Das Schilddrüsenszintigramm ergab eine der Form, Größe und Lage nach regelrechte Schilddrüse, der palpable Knoten korrelierte nicht mit dem Szintigramm (Abb. 16). Der Operationsbefund ließ einen verdickten rechten Lappen erkennen, histologisch handelte es sich um normales Schilddrüsengewebe.

Bei einem Vergleich der Abb. 13 + 14 erkennt man gut die korrespondierenden Wärmepunkte. Sie bestätigen den operativ gesicherten Nachweis von Schilddrüsengewebe, da bei Vorliegen einer Zyste ein Farbumschlag in einen niedrigeren Meßbereich hätte gefunden werden müssen.

Die beiden Aufnahmen 13 + 14 zeigen aber beim Vergleich deutlich die Abhängigkeit von der Oberflächenkrümmung bei Betrachten der Farbverteilungen. Es läßt sich daraus der Schluß ziehen, daß zur möglichen Dokumentation Aufnahmen in vielen, nur wenig voneinander abweichenden Beobachtungswinkeln gemacht werden müssen.

Beispiel 7: S.E., ♀, 19 Mon., Kr.bl.-Nr. 832/73

Das Kind wurde mit hohem Fieber von 40°C eingeliefert. Grobfleckige Blutungen traten im Gesicht, an Armen und Beinen auf. Der Allgemeinzustand war deutlich reduziert. Im Blutbild konnte eine hohe Leukozytose und eine Thrombozytenzahl von 158 000 festgestellt werden. Die BSG lag bei 27/28. Es bestätigte sich der Verdacht auf eine Meningokokkensepsis.

In den auf Abb. 17 erscheinenden rot-braunen nekrotischen Hautpartien (rot/weiß) war eine deutliche Temperaturerhöhung zur Umgebung (schwarz) festzustellen, aus der auf eine erhöhte Reaktion des Gewebes im Sinne einer Abstoßung bzw. Entzündung geschlossen werden kann. Dies wird auch durch die in der linken Abbildung gekennzeichneten direkten Temperaturwerte erkennbar. Zu beachten ist jedoch bei der Beurteilung beider Aufnahmen, daß der Blickwinkel der Abb. 18 nicht der gleiche wie bei Abb. 17 ist.

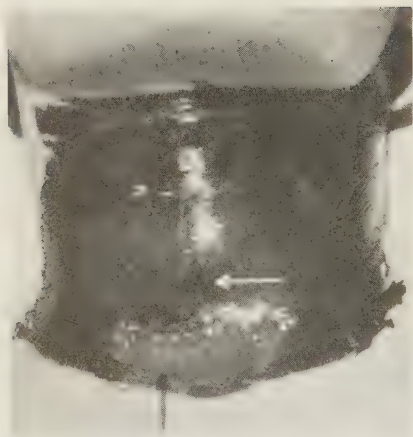


Abb. 13

Licristal 32-36



Abb. 14

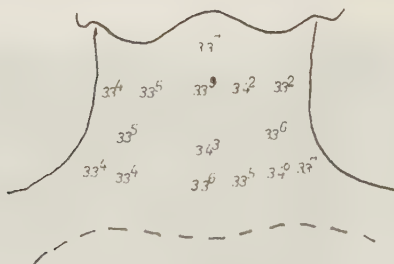


Abb. 15

Meßwerte des Hautthermometers

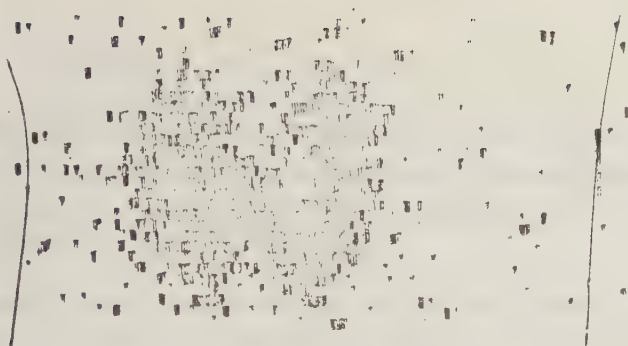


Abb. 16 aus dem Institut für klinische Strahlenkunde, mit freundl. Genehmigung durch Prof. Diethelm

Schilddrüsenszintigramm nach i.V. Injektion von 1 m Ci, Tc 99 m Pertechnetat; PBJ-Wert im Normbereich

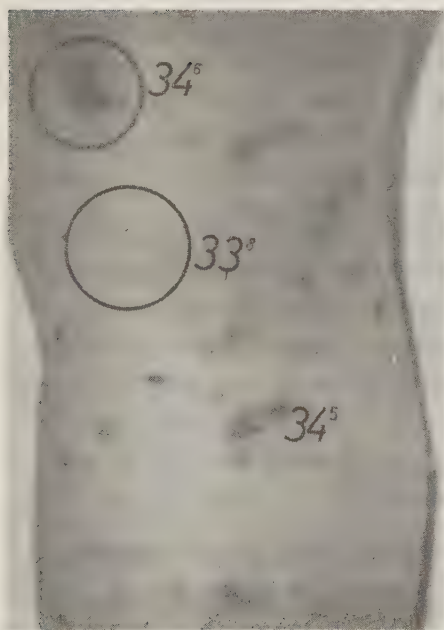


Abb. 17

Licristal 32-36



Abb. 18

IV. DISKUSSION

Wärme nimmt als diagnostisches Zeichen vieler Erkrankungen einen festen Platz in den Untersuchungen der klinischen Medizin ein. Mit der zur Zeit technisch und praktisch führenden Infrarot-Technik wird am häufigsten gearbeitet. Ihr Nachteil liegt allerdings in den hohen Anschaffungskosten.

Nachteil aller Untersuchungsmethoden ist die geringe Eindringtiefe der Wärmemessungen. Die in dieser Arbeit angewendeten flüssigen Kristalle bieten den Vorteil des direkten Kontaktes und der großen Wirtschaftlichkeit durch geringe Kosten. Das Interesse an flüssigen Kristallen lag bisher nur im Bereich der Technik; in der Medizin sind sie bisher bis auf einige spezielle Untersuchungsmethoden nicht eingeführt.

Es war daher die Aufgabe dieser Untersuchungen, anhand unterschiedlicher klinischer Beispiele die Anwendbarkeit zu prüfen und vor allem auf die technischen Möglichkeiten und eventuelle Fehlerquellen zu achten.

In der cholesterinisch flüssigen kristallinen Phase herrscht eine schraubenförmige Anordnung der Moleküle vor. Da die Kräfte, durch die die einzelnen Moleküle in dieser Anordnung gehalten werden, relativ klein sind, reichen geringe zusätzliche Energien aus, um die Ganghöhe der Helix zu verändern und damit die optischen Eigenschaften der cholesterinischen Phasen quantitativ zu beeinflussen.

Cholesterische Flüssigkeiten besitzen die Eigenschaft, in weißem Tages- oder Kunstlicht auf Temperaturänderungen mit leuchtenden Farberscheinungen zu reagieren. Innerhalb eines für eine Verbindung charakteristischen Temperaturintervalls wird beim Erwärmen die gesamte Farbskala von Rot bis Violett durchlaufen. Da dieser Vorgang reversibel ist, und beim Abkühlen die Farben in umgekehrter Reihenfolge auftreten, hat man so die einfache Möglichkeit, Oberflächentemperaturen zu messen, Temperaturdifferenzen durch dynamische Vorgänge, wie Wärmeausbreitungsprozesse, visuell zu verfolgen (9).

Um im Weiteren bei der Besprechung auf sich wiederholende Hinweise verzichten zu können, seien bereits jetzt die technischen Fehlerquellen aufgezeigt.

Ohne Zweifel ist dabei die Geometrie des zu untersuchenden Objekts von entscheidender Bedeutung. Je stärker die Krümmung, desto weniger erlaubt die Reflexion der Farbe auf Grund der Abhängigkeit von verschiedenen Beleuchtungs- und Beobachtungswinkeln einen Schluß auf die Temperatur. Dies macht besondere Schwierigkeiten bei der

fotografischen Fixierung als einziger Möglichkeit der Befunddokumentation dieser Methode. Bei der direkten Betrachtung lassen sich durch unterschiedliche Beobachtungswinkel die tatsächlichen Farbunterschiede besser erkennen als mit der Fotografie, die nur wenige unterschiedliche Richtungen erfaßt (siehe Abb. 13 + 14).

Auch durch Anwendung von Polarisationsfiltern konnten die Lichtreflexe nicht endgültig beseitigt werden.

Ein weiterer Nachteil sind Einrisse der Schwarzlackschicht, die durch Bewegungen der Haut nach dem Abtrocknen entstehen. Durch die hierbei auftretenden hellen Bruchlinien wird das Farbauflösungsvermögen des Auges getäuscht (siehe Abb. 18). Ein Überstreichen der Bruchlinien andererseits läßt unterschiedlich dicke Schwarzlackschichten entstehen, die eine unterschiedliche Wärmeänderung der unterliegenden Haut hervorrufen.

Die Anwendung von noch in der Entwicklung befindlichen Klebefolien läßt keine Besserung erwarten, da sie nur bei planen Flächen, denen sie voll anliegen, anwendbar sind.

Schwierigkeiten ergaben sich auch mit der Farblösung der FK Licristal^R: Nach Temperaturmessungen mit einem elektrischen Hautthermometer und damit der Festlegung des Temperaturbereichs und der Indikatorsubstanz traten nicht die gewünschten Farberscheinungen auf. Dagegen ergaben sich gute Bilder bei Benutzung der Licristal-Substanz des nächst höheren Temperaturintervalls. Leider konnte Fa. Merck nicht zur Klärung beitragen. In Betracht kommt die Änderung der chemischen Struktur durch lange Lagerung (Altern der Substanz im organischen Lösungsmittel (5), sowie Verunreinigungen durch O₂, verseifende Agentien oder UV-Licht (6)) und durch Verdunsten des Lösungsmittels beim öfteren Schließen und Öffnen.

Eine grundlegende Schwierigkeit war auch die Messung der Temperatur mit dem Hautthermometer. Die Eindringtiefe der Spitze (d.h. der Druck, mit dem die Meßspitze der Haut aufliegt) sowie der Winkel des Meßfühlers zur Meßoberfläche beeinflussen das Meßergebnis. Wir halten daher das senkrechte Aufsetzen der Meßspitze und lockere Halten ohne zusätzlichen Druck für ausreichend und damit bei wiederholter Anwendung für standardisierbar und die Ergebnisse für vergleichbar.

Ein Positivum der Anwendung der flüssigen Kristalle liegt in der relativ einfachen, nicht eingreifenden Methode, die außerdem gegenüber der Infrarot-Technik den Vorteil des Preiswerten bietet.

Nach Ch. Gros (5) sind wie bei der Infrarot-Technik pathologische Prozesse zu erfassen, die sich an oberflächlichen und halbtiefen Geweben abspielen. Die verschiedenen, den Blutkreislauf betreffenden Erkrankungen sind ebenfalls zur Diagnose indiziert, vor allem an Gliederenden, die durch die Infrarot-Messungen nur schwierig zu erfassen sind (2, 16).

Ein Schwanken der Temperaturanzeige um 12°C in drei Stunden, wie es von Nilsson (10) berichtet wird, kann bei der Anwendung der flüssigen Kristalle ausgeschlossen werden. Durch Kontrollmessungen vor Versuchsbeginn ist es im Prinzip im Gegensatz zur Infrarot-Technik auch möglich, absolute Temperaturwerte zu ermitteln (Abb. 2). Doch ist dies, wie auch Tiselius (16) angibt, nicht notwendig, da bei der routinemäßigen klinischen Arbeit nur der Vergleich von Isothermen notwendig erscheint.

"Die tatsächliche Oberflächentemperatur, die durch Emission als Aufzeichnung der abgestrahlten Wärme festgestellt wird, wird jedoch durch den Wärmefluß, durch Übertragung und Konvektion und der Wärmefluß durch Verdunstung verändert." (16).

Im Original:

"The actual surface temperature as registered by emission recording as radiant heat is, however, modified by heat flux through conduction and convection and heat flux through evaporation." (16).

Daraus konnten wir auch verschiedene Veränderungen der Farben während einer langen Beobachtungszeit erklären. Es muß daher wie bei den Infrarot-Aufnahmen Wert auf eine gleichmäßige Raumtemperatur gelegt werden. Da die Versuche aber wesentlich weniger Zeit beanspruchen, ist auch die Gefahr der Auskühlung und damit der Veränderung der Durchblutung und des Wärmebildes geringer.

Die Meßgenauigkeit ist also stark äußeren Einflüssen unterworfen (siehe auch Abb. 1 + 2, Demonstration des Meßverfahrens). Es sollten aber aus den beobachteten Farbveränderungen keine absoluten Temperaturwerte ermittelt werden, sondern wir legten Wert auf eine großflächige Übersichtsdarstellung, aus der man eventuell Rückschlüsse auf die Art der Erkrankung zu ziehen hoffte.

Wie in Fig. 5 gezeigt, unterschieden wir in entzündliche und nichtentzündliche Prozesse, Organdarstellungen und Nachweise von Durchblutungsstörungen.

Zur Diagnose aus Wärmebildern lassen sich grundsätzlich zwei Punkte hervorheben:

a) Die bloße Feststellung einer anormalen Temperaturverteilung erlaubt keinen Schluß

über die Malignität des beobachteten Tumors bzw. der vaskulären Erkrankung.

b) Hypothermie wird meistens ischämischen Störungen zugeschrieben, während Hyperthermie entzündlichen oder degenerativen Prozessen rheumatischer Natur sowie vor kurzem traumatisierten Geweben und ausgedehnten Ödemen entsprechen kann (5).

"Es zeigte sich, daß auch bei scheinbar gesunden Patienten (es wurden etwa 40 Gesunde neben den pathologischen Fällen überprüft) mit einer relativ starken Variabilität des Wärmemusters zu rechnen ist. Die Hauttemperatur ist eine von vielen inneren (Durchblutung, Wärmeleitfähigkeit, Kerntemperatur) und äußeren Parametern (Raumtemperatur, Körperhaltung) abhängige und quantitativ schwer faßbaren Größen." (17).

"Mit dem Nachweis einer erhöhten Hauttemperatur sind nach unserer Studie keine spezifischen Aussagen möglich, sondern nur Hinweise auf ätiologisch unterschiedliche Prozesse zulässig." (17).

Geht man von dem klinischen Befund des "calor" bei einem entzündlichen Prozeß aus, so muß ein entsprechender Farbumschlag zu erwarten sein. In der Tat ließ sich dies bei unseren Untersuchungen zeigen, jedoch mit den bereits oben erwähnten Einschränkungen.

Fassen wir unsere Ergebnisse zusammen, so können wir derzeit noch keinen entscheidenden diagnostischen Vorteil dieser Untersuchungsmethode erkennen.

C. ZUSAMMENFASSUNG

"Calor" als diagnostisches Kriterium von Entzündungen wurde seit langer Zeit nur durch subjektive Vergleiche bestimmt, objektivierbare, großflächige Darstellungen von Hauttemperaturen sind erst durch die Infrarot-Technik möglich geworden.

In dieser Arbeit sollte versucht werden, durch Anwendung von flüssigen Kristallen des cholesterinischen Typs gleichwertige Aufnahmen herzustellen. Ebenso wurde versucht, Durchblutungsstörungen durch ihre Wärmeänderung im Vergleich zu gesunden Geweben darzustellen. Eine weitere Aufgabe lag in der Darstellung von Organen, die durch ihr Wärmebild zu beobachten sind.

Wir konnten feststellen, daß durch vielerlei Schwierigkeiten der Anwendung der flüssigen Kristalle Grenzen gesetzt sind, die in der Krümmung der Oberfläche, der Temperaturbreite, der Beschaffenheit der unterliegenden Haut und Schwarzlackschicht sowie in der Substanz selbst begründet sind. Auch die fotografischen Aufnahmen lassen durch die Geometrie des Meßbezirks und durch die Reflexion der Lichtquelle nur eine unvollständige Dokumentation zu. Wir können deshalb derzeit für die klinische Untersuchung noch keinen Vorteil in der Anwendung der cholesterinischen flüssigen Kristalle sehen.

D. LITERATURVERZEICHNIS

1. BÖTTCHER, B. Vortrag "Anwendung cholesterischer flüssiger Kristalle"
in der Technischen Akademie
Esslingen am 16.1.1973
2. BRANEMARK, P.-J. J. Radiol. Electrol. 48, 1 - 2 + 69 (1967)
3. CRISSEY, J.T.,
J.L. FERGASON,
J.M. BETTENHAUSEN J. Invest. Dermat. 45, 329 (1965)
4. FERGASON, J.L. Sci. Amer. 77, 211 (1964)
5. GROS, Ch.,
M. GAUTHERIE,
P. BOURJAT,
F. ARCHER Ann. Radiol. 13, 33-342 (1970)
6. HORN, J. Mitteilung der Abteilung Beratung und Anwendungstechnik der Fa. Merck, Darmstadt
7. MEIER, G. Vortrag "Allgemeine Grundlagen über flüssige Kristalle"
in der Technischen Akademie
Esslingen am 15.1.1973
8. MEIER, G. Phys. Bl. 27, 110 (1971)
9. Fa. MERCK Licristal^R
Mitteilungen Ausgabe 1972
10. NILSSON, K. Zitiert in Tiselius, P. (16)
11. PETERSON, E.N.,
G.D. DIXON,
M.A. LEVINE Obstetrics a. Gynecology 37, 468-473 (1971)
12. SELAWRY, O.S.,
J.F. HOLLAND Proc. Amer. Ass. Cancer Res. 7, 63 (1966)
13. SELAWRY, O.S.,
H.S. SELAWRY,
J.F. HOLLAND Mol. Cryst. 1, 495-501 (1966)
14. STEINSTRÄSSER, R. Vortrag "Anwendung cholesterischer flüssiger Kristalle"
in der Technischen Akademie
Esslingen am 16.1.1973
15. STEWART, G.T. Molecular crystals 1, 563-580 (1966)
16. TISELIUS, P. Acta Rheum. Scand. 14, (1968)
Nachdruck der AGA, AB,
Lidingö 1, Sweden (1969)
17. SCHMID, F. ZWR 81 1132-1136 (1972)

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. B.-K. Jüngst für die Überlassung des Themas und für seine wertvollen Anregungen bei Durchführung und Fertigstellung der Arbeit sehr herzlich danken.

LEBENS LAUF

Am 14. Juli 1950 wurde ich in Bernkastel-Kues an der Mosel als zweites Kind des Regierungsinspektors Walter Moch und Charlotte Moch, geb. Wolf, geboren. Im Jahre 1954 wurde mein Vater nach Birkenfeld a.d. Nahe versetzt. Dort besuchte ich ab Ostern 1957 die Volksschule und nahm ab 1958 Klavier-, Orgel- und Flötenunterricht.

1961 wurde ich als Sextaner in das Neusprachliche Gymnasium Birkenfeld aufgenommen. Im Sommer 1963 trat ich in das Neusprachliche und Mathematisch-Naturwissenschaftliche Gymnasium (heute Hohenstaufen-Gymnasium) in Kaiserslautern ein, da mein Vater als Oberamtsrat das hiesige Amt für Verteidigungslasten übernommen hatte.

Im Juni 1969 bestand ich dort mit gutem Erfolg mein Abitur und begann im Oktober 1969 mit dem Studium der Zahnmedizin an der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz.

Im September 1970 bestand ich das Vorphysikum und im April 1972 das Physikum.

Im Herbst 1974 legte ich das Zahnmedizinische Staatsexamen ab.

